

JFJ

520.41386X00

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

JC879 U.S. PTO
10/08784
03/05/02



Applicant(s) : TATSUNO, et al.

Serial No. : Not assigned

Filed: March 5, 2002

Title: OPTICAL TRANSMITTER MODULES

Group: Not assigned

LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Honorable Commissioner of
Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

March 5, 2002

Sir:

Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55, the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on Japanese Application No.(s) 2001-312894 filed October 10, 2001.

A certified copy of said Japanese Application is attached.

Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP

Melvin Kraus
Melvin Kraus
Registration No. 22,466

MK/amr
Attachment
(703) 312-6600

日本特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

JC879 U.S. PRO
10/087784
03/05/02



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office

出願年月日
Date of Application: 2001年10月10日

出願番号
Application Number: 特願2001-312894

[ST.10/C]: [JP2001-312894]

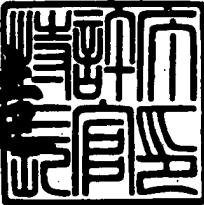
出願人
Applicant(s): 日本オプネクスト株式会社

BEST AVAILABLE COPY

2002年 2月 1日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕三



出証番号 出証特2002-3003806

【書類名】 特許願

【整理番号】 NT01P0784

【提出日】 平成13年10月10日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02F 1/06

【発明者】

【住所又は居所】 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

【氏名】 立野 公男

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 日本オプネクスト株式会社内

【氏名】 黒口 克己

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 日本オプネクスト株式会社内

【氏名】 山本 篤弘

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地 日本オプネクスト株式会社内

【氏名】 東口 晃久

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地 株式会社日立製作所 生産技術研究所内

【氏名】 古市 浩朗

【特許出願人】

【識別番号】 301005371

【氏名又は名称】 日本オプネクスト株式会社

【代理人】

【識別番号】 100068504

【弁理士】

【氏名又は名称】 小川 勝男

【電話番号】 03-3661-0071

【選任した代理人】

【識別番号】 100086656

【弁理士】

【氏名又は名称】 田中 恭助

【電話番号】 03-3661-0071

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 081423

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザ制御モジュール及び光システム

【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体レーザ光源からの出射光の一部を第1の光束としてエタロンを透過させて第1の光検出手段に導き、

前記出力光の他の少なくとも一部を第2の光束としてそのエタロンを透過することなく第2の光検出手段に導き、

前記第1及び第2の光検出手段で検出された前記第1及び第2の光束の差信号に基づいて、前記レーザ光源の発振周波数を所定値に維持するように構成され、且つ

前記エタロンは、少なくともスペーサを当該モジュールで適用する光を透過する光学特性を有する二枚の板材で挟んで構成され、且つ

前記二枚の板材の当該エタロンへの入射光の光軸と交差する方向の長さは、同じ方向の前記スペーサの長さより長く設定され、

前記二枚の板材の前記スペーサに接しないで互いに向かい合う部分が挟む空間が前記エタロンの多重干渉領域とされ、

前記多重干渉領域に気体が存在し、且つ

前記スペーサは、その材料の熱膨張係数が10のマイナス7乗/°C以下の固体材料より成ることを特徴とする半導体レーザ制御モジュール。

【請求項2】 前記二枚の板材は光学研磨板なることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ制御モジュール。

【請求項3】 前記スペーサを当該モジュールで適用する光を透過する光学特性を有する二枚の板材で挟む形態は、

前記スペーサが前記二枚の板材の一方の端部側にのみ配置され、

前記二枚の板材のスペーサに接しないで互いに向かい合う部分が挟む空間が、前記多重干渉領域であることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ制御モジュール。

【請求項4】 前記スペーサを当該モジュールで適用する光を透過する光学特性を有する二枚の板材で挟む形態は、

前記スペーサとして二つのスペーサ部材が、前記二枚の板材の相対する二つの端部側に配置され、

前記二枚の板材がスペーサに接しないで互いに向かい合う部分が挟む空間が、前記多重干渉領域であることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ制御モジュール。

【請求項5】 半導体レーザ光源からの出射光の一部を第1の光束としてエタロンを透過させて第1の光検出手段に導く為の光束分割手段が、半透明のビームスプリッタであることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ制御モジュール。

【請求項6】 前記多重干渉領域となる空間を囲う前記二枚の板材の少なくとも互いに向かい合う各々の第1の面が反射膜を有し、且つ

前記二枚の板材の前記反射膜を有する面とは反対側の各々の第2の面が、無反射膜を有するか或いは当該板材に入射する入射光の光軸に対して傾斜する面であるかの内の少なくとも一者であることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ制御モジュール。

【請求項7】 前記エタロンを構成する板材のうち、入射側の板材が四分の一波長板であることを特徴と請求項1に記載の半導体レーザ制御モジュール。

【請求項8】 前記エタロンの一部を透過する光束と、前記エタロンを透過しない光束とは入射光を分割して得、その一方を第1の光束としてエタロンを透過させ波長検出用光検知器に、他方を第2の光束としてエタロンを透過せずに直進させて参照光とすることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ制御モジュール。

【請求項9】 前記半導体レーザ光源からの出射光を集光し、前記集光された光の光路中に前記エタロンを斜めに配置し、前記エタロンを通過した光束を二つに分割し、二つに分割された一方の光を第一の光検知手段で、他方を第二の光検知手段で受光せしめ、各光検知手段の各々の光電流の差を前記波長誤差信号とすることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ制御モジュール。

【請求項10】 半導体レーザ光源からの出射光の一部を第1の光束としてエタロンを透過させて第1の光検出手段に導き、

前記出力光の他少なくとも一部を第2の光束としてそのエタロンを透過することなく第2の光検出手段に導き、且つ

前記第1及び第2の光検出手段で検出された前記第1及び第2の光束の差信号に基づいて、前記レーザ光源の発振周波数を所定値に維持するように構成され、且つ

前記レーザ光源はシリコン基板に搭載され、

前記シリコン基板は当該レーザ光の光軸に対して傾斜して、当該レーザ光を反射する面を有し、

この傾斜面はこの傾斜面からの反射光が前記レーザ光の光軸と交差する方向に反射される傾斜を有することを特徴とする半導体レーザ制御モジュール。

【請求項11】 前記シリコン基板に、少なくとも前記レーザ光源と集光レンズが搭載され、前記集光レンズを透過したレーザ光が、レーザ光の光軸に対して傾斜する前記傾斜面での光の反射を用いて分割され、当該反射光が第一の光検知器に導かれ、反射しない光が前記エタロンに導かれることを特徴とする請求項10に記載の半導体レーザ制御モジュール。

【請求項12】 前記シリコン基板に設けられる当該レーザ光の光軸に対して傾斜する前記傾斜面は、シリコン基板の結晶性に対する異方性エッチングによって形成されたことを特徴とする請求項10に記載の半導体レーザ制御モジュール。

【請求項13】 前記エタロンは、前記スペーサを当該モジュールで適用する光を透過する光学特性を有する二枚の板材で挟み且つ前記二枚の板材の当該エタロンへの入射光の光軸と交差する方向の長さをこれと同じ方向の前記スペーサの長さより長く設定し、

前記二枚の板材の前記スペーサに接しなで互いに向かい合う部分が挟む空間が多重干渉領域とされ、

前記多重干渉領域に気体が存在し、且つ

前記スペーサは、その材料の熱膨張係数が10のマイナス7乗/°C以下の固体材料より成ることを特徴とする請求項10に記載の半導体レーザ制御モジュール。

【請求項14】 前記半導体レーザ光源が複数の波長の発振が可能な発光部を有

し、前記複数の発光部からの光を合波し、この合波された光の一部を第1の光束としてエタロンを透過させて第1の光検出手段に導き、前記出力光の他の少なくとも一部を第2の光束としてそのエタロンを透過することなく第2の光検出手段に導き、前記第1及び第2の光検出手段で検出された前記第1及び第2の光束の差信号に基づいて、前記レーザ光源の発振周波数を所定値に維持するように構成されることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ制御モジュール。

【請求項15】 請求項1に記載の半導体レーザ制御モジュールを有することを特徴とする光システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本願発明は、波長選択素子にエタロンを有して発振波長を安定化させる半導体レーザ制御モジュール及びこれを用いた応用装置、光システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光ファイバ通信は、長距離で高速大容量、且つ、強い電磁ノイズ耐性を持つため、高い信頼性を保証する通信システムの構築が可能である。このシステムでは一本の光ファイバに一つの波長の光を伝送させていたが、近年の大容量情報化社会の到来に伴って伝送容量の一層の拡大が要請されている。このため、一本の光ファイバに波長の異なる多数の光を伝送させ、通信のチャンネル数を増やして大容量化を実現する波長多重光通信システムの技術が実用化されるに至った。光ファイバ中を伝送する光の波長は、光ファイバの伝送損失が低い波長帯域が使われ、1.3ミクロン領域と1.5ミクロン領域が伝送のウインド（窓）と呼ばれている。これらのウインドの波長幅は限られているため、隣のチャンネルとの波長間隔を狭くすればするほど伝送のチャンネル数を増やすことができる。現在は、周波数間隔が200GHz、100GHzであるが、更に、50GHz、25GHzと狭くなる傾向である。波長間隔に直せば、それぞれ約1.6nm、0.8nm、0.4nm、0.2nm、0.1nmという狭いものとなる。

【0003】

このように波長間隔が狭くなると、レーザ光源の波長を精度良く一定に保つ必要が生じる。なぜなら、レーザ光源の波長が揺らいで、隣のチャンネルの波長に達すると、受信側で隣の波長チャンネルとのクロストーク（漏話）が発生し、情報通信の信頼性が保証できないからである。これらの波長（または、周波数）チャンネルはITU-T (International Telecommunication Union—Telecommunication Standardization Sector) グリッドと称されており、ITU勧告 (International Telecommunication Union Standard) として広く認知されている。

【0004】

この背景から、波長多重光通信のレーザ光源の波長を制御する各種方法が提案されて来た。例えば、波長選択素子として、誘電体多層膜フィルタ、あるいは、ファブリ・ペロ・エタロン (Fabry-Perot Etalon) などを導入し、半導体レーザの動作温度にフィードバックして波長を固定する方法が工夫されている。特に、エタロンは多重干渉の次数に応じて繰り返し透過ピークが出現する特性がある。この為、透過曲線の周期をITUグリッドに合わせて、一つの波長選択素子で複数の波長チャンネルに波長ロックをかけることが可能となる。例えば、公開公報、特開平10-79723号では、エタロンを透過した光を二分割し、双方を光検知器で受光し、両者の差を波長誤差信号としてロックをかける方法などが提案されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

本願発明は、周囲温度等の影響を可能な限り除去し、発振波長を安定化した半導体レーザ制御モジュールを提供する。本願発明の他の目的は、周囲温度等の影響を可能な限り除去し、発振波長を安定化した半導体レーザ制御モジュールを用いた応用装置を提供するものである。

【0006】

これまで用いられてきた上記エタロンには温度依存特性がある。即ち、エタロンの温度が変わると屈折率の温度変化や線膨張係数のためにエタロンの光路長が変化し、エタロンの透過光の波長が変動する特性がある。この為、環境温度の変

化に起因して、そのエタロンを利用して波長ロックしたい波長値と実際のロック波長とにずれが生じるという問題が生じることを見出した。

【0007】

この現象は、いわゆるトラッキング試験、即ち、波長ロッカーを内蔵したパッケージの周囲温度を例えば、0℃から70℃まで変えた時の波長ずれとして現れる問題である。更に、半導体レーザの波長を可変とする応用があり、半導体レーザの温度を変えて波長を変化させる要求がある。この場合、エタロンに温度依存性があると、ロック波長にずれが生じるという問題が発生する。

【0008】

こうした諸事実を背景として、本技術の主要点は、エタロンの温度依存性の影響を低減することにある。更に、本技術の他の側面は、波長ロック光学系の部品点数を減らすとともに、集積度を上げることである。

【0009】

【課題を解決するための手段】

本願発明の第1の形態の骨子は、次の通りである。即ち、波長誤差検出素子であるエタロンの構造として、熱膨張係数が無視できるスペーサとなる固体材料の両端に、当該レーザ光を透過する板材、例えば、前記固体材料よりも長い平面度の高い二枚の研磨ガラスの板を空間が生じるように貼り付け、そして、この二枚の板材によって生じた空間をファブリ・ペロー・エタロンとするものである。本願発明は、光通信機器をはじめ、発振波長の極めて安定化を要請される諸光装置、光システムを構成することが出来る。

【0010】

より詳しくは、次の通りである。即ち、波長誤差検出素子として、従来のソリッドエタロンとは異なる構造を持つものを用意し、波長の透過曲線の温度依存性を低減したところにある。即ち、その構造は、熱膨張係数の低い材料からなる、例えば直方体のスペーサの両端に、当該直方体のスペーサの一辺よりも長い、一対の直方体の板材を互いに向き合わせて貼り付け、生じた空間をファブリ・ペロー・エタロンとするものである。当該一対の直方体の板材は、当該レーザ光を透過させる材料であり、且つ、互いに向き合う面は平坦度が高くなるように研磨さ

れている。そして、互いに向き合う面には、レーザ波長の変化に応じて所望の透過曲線が得られるような反射膜が形成されている。又、当該スペーザの材質は、その熱膨張係数が、従来のソリッドエタロンの材料として用いられている石英ガラスの熱膨張係数 ($0.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) よりも低い値の材料を採用する。このスペーザの熱膨張係数は低ければ低い程良好な結果が得られるが、具体的には、光ファイバ通信の波長多重度、即ち、チャネル間の間隔で決まるクロストークが十分低く低減できる程度に選ぶものである。

【0011】

本願発明の第2の形態の骨子は、少なくとも半導体レーザ、および集光レンズを搭載するシリコン基板の溝の一部を利用して、半導体レーザ光源からの出射光を分岐する手段をとるものである。この第2の形態は、前記光の分割の簡便な手段に関するものである。第2の形態をより詳しく説明すれば、次の通りである。

【0012】

即ち、前記レーザ光源はシリコン基板に搭載され、前記シリコン基板は当該レーザ光の光軸に対して傾斜する傾斜面を有し、この傾斜面はこの傾斜面からの反射光が前記レーザ光の光軸と交差する方向に反射される傾斜を有することを特徴とするものである。当該シリコン基板には、通例、少なくとも前記レーザ光源と共に集光レンズが搭載される。そして、前記集光レンズを透過したレーザ光が、レーザ光の光軸に対して傾斜して受光する前記傾斜面によって分割され、例えば、当該反射光が第一の光検知器に導かれ、反射しない光が前記エタロンに導かれる。前記シリコン基板に設けられる傾斜面は、シリコン基板の結晶性に対する異方性エッチングによって形成するのが、実際的で且つ高精度である。

【0013】

本願発明は、光通信機器をはじめ、発振波長の安定化を要請される諸光装置、光システムを、部品点数を削減し、小型にて構成することが出来る。

【0014】

【発明の実施の形態】

<波長ロックのベースとなる制御ループの説明>

図1は本願発明による波長ロックのベースとなる制御ループを説明するもので

ある。即ち、波長可変レーザ光源100は、例えば、DFB (Distributed Feed Back) 型やファブリ・ペロー型 (Fabry-Pérot) の半導体レーザである。あるいは、DFB型半導体レーザに電界吸収型の変調器を集積化した光源である。このような波長可変レーザ光源100は、図2に示すように動作温度Tの変化に伴い発振波長λが変化する。従って、ITU-TSグリッドに対応する波長を動作温度で選択することができる。図2は半導体レーザの温度と発振波長の関係を示す図である。横軸が半導体レーザの温度、縦軸がその発振波長である。この発振波長をいわゆるITU-Tグリッドに対応させることができる。この意味で、図2の縦軸にITU-Tグリッドとも表示している。

【0015】

波長可変レーザ光源100、集光レンズ105、ビームスプリッタ106、光検知器110、エタロン108、光検知器109、サーミスタ403などが、熱電子冷却素子401上に搭載されている。尚、熱電子冷却素子401はシステム300の下部に設けられる。このことに関しては図6をもって説明される。熱電子冷却素子401の駆動回路402により、レーザ100の温度を、サーミスタ403の抵抗値に応じた温度に保持することができる。この温度制御によって、前記の半導体レーザの温度を制御する。

【0016】

一方、波長可変レーザ光源100の前方の射出光は、コリメータ101でコリメートされ光アイソレータ102、フォーカスレンズ103を経て光ファイバ104に結合され、情報伝送される。

【0017】

本波長制御ループは、スイッチ405によって閉じられていた、温度制御ループ488を波長制御ループ489に切りかえることによって閉じる構成となっている。まず、波長可変レーザ光源100の後方からの射出光をコリメータ105でコリメートし、光路分割器（ビームスプリッタ）106で透過光107と反射光に分割する。光路分割器106は三角プリズムを張り合わせた形状、あるいは、接着剤を嫌う場合は、薄い平行平面板に誘電体薄膜を着けたもの等である。反射光は光検知器110で光電変換され、レーザ光源100の出力モニターとなっ

て、あらかじめ設定された光出力の値と比較されて駆動回路404により、レーザ光源の出力値を一定に保つ。

【0018】

又、本願発明による波長誤差検出のための光学系の構成は次の通りである。即ち、該透過光107は、更に、エタロン108に至り、エタロンの内部で多重反射した各々の光が互いに干渉し、式(1)で表される透過ピークが得られる。

$$I_t = 1 / (1 + F \sin^2(\phi)) \dots \dots (1)$$

ここに、

$$F = 4R / (1 - R)^2 \dots \dots (2)$$

$$\phi = (2\pi n t / \lambda) \cos \theta' \dots \dots (3)$$

である。ここで、Rはエタロン108の各面の膜反射率、nはエタロンの屈折率、tはエタロンの厚さ、λは光の波長、そして、θ'はエタロン内で光線のなす角度である。これらの関係は図3に示される。

【0019】

ここで、スネルの法則

$$\sin \theta = n \sin \theta' \dots \dots (4)$$

が成り立つ。更に、透過光の繰り返しピークの間隔はフリー・スペクトラル・レンジ(Free Spectral Range/FSR)と呼ばれる。それは波長域では、

$$FSR = \lambda^2 / 2nt \dots \dots (5)$$

周波数域では、光速をcとして、

$$FSR = c / 2nt \dots \dots (6)$$

で与えられる。従って、エタロンの厚みt、屈折率n、膜反射率Rを設計すれば、FSRをITU-TSグリッド間に一致させることができる。FSRをITU-TSグリッドに一致させることは、広い波長範囲に渡って所望の鋭い波長選択特性を持った波長誤差検出を実現することを可能とする。こうして、所定の波長間隔で存在する所望の波長での光の複数の透過領域を有せしめ、この光の複数の透過領域の何れかが、前記レーザ光源が所望する発振波長に対応させることができる。

【0020】

透過ピークは、図4のように波長の変化と共に繰り返し現れ、その間隔は、前述のようにフリースペクトルレンジ（Free Spectral Range／FSR）と呼ばれ、式（5）あるいは式（6）で表される。

【0021】

かくして得られるエタロンの透過光は、図1における光検知器109で受光されて光電流に変換される。一方、光路分割器106の反射光は、光検知器110で受光されて光電流に変換される。そして、目的の波長誤差検出信号は、前述のように光出力モニタ用の光検知器110に流れる光電流Pmと、エタロン108の後におかれた波長モニタ用の光検知器109に、式（1）に従って流れる光電流Ptの差を誤差信号A（λ）となす。

$$A(\lambda) = P_t - P_m \dots \dots \dots (7)$$

誤差信号としては、光量で正規化した信号、

$$A(\lambda) = (P_t - P_m) / (P_t + P_m) \dots \dots \dots (8)$$

を用いることも適切である。

【0022】

かくして得られた高い感度を持つ波長誤差信号値A（λ）がゼロ、あるいは、一定の値になるように、図1に図示の半導体レーザ100の温度制御素子401の駆動回路402へフィードバックするものである。ここで、式（7）あるいは式（8）で表される誤差信号が所望のITUグリッド波長の一つの近傍を捕獲するためには、あらかじめ、サーミスタ403の値から半導体レーザの温度を読み取り、図2にしたがって得られる温度と波長の関係から、該近傍に動作温度を定めておく必要がある。しかる後、スイッチ405を波長ロックループに切り替えるものである。一方、半導体レーザの出力を一定に保つためのAPC（Automatic Power Control）は、やはり、光検知器110の出力を設定値と比較し、半導体レーザ100の駆動電流制御回路404にフィードバックする。以上が波長ロックの制御ループの基本的な説明である。

<本願発明の背景の考察>

エタロンの透過ピークの半値幅の値であるεとFSRの比はフィネスΦと呼ば

れ、エタロンの反射率Rとの間に、次の式(9)、(10)、及び(11)の関係がある。

$$F = 4 R / (1 - R)^2 \dots \dots \dots (9)$$

$$\Phi = (\pi \sqrt{F}) / 2 \dots \dots \dots (10)$$

$$\Phi = F S R / \varepsilon \dots \dots \dots (11)$$

従って、エタロンの鋭い分光特性、即ち小さな ε の値を得るには、エタロンの両面の反射率が高く、また、両面での反射を繰り返し多数回生じさせる必要がある。そのためにはエタロンへの入射光の角度が垂直近傍となる必要がある。

【0023】

以上がエタロンによる波長誤差の検出原理である。この原理に基づいて構成されたのが図5に示す光通信モジュールである。図5はその平面図である。

【0024】

本モジュールの諸要素は、パッケージ700に収納され、必要な端子701が外部に導出される。半導体レーザ光源100からの光を前方のコリメートレンズ101で集光し、光アイソレータ102を経て絞り込みレンズ103に到り、ファイバ104に結合される。一方、半導体レーザの後方の光は、後方に置いたレンズ105により集光され、ビームスプリッタ106で分割され、一方は光検知器110に到って光出力レベルのモニタとなる。今一方の光はエタロン108を通過し光検知器109に到り、図4に示したごとき波長誤差検出カーブが得られる。図4はエタロンの波長分光特性を示す図である。横軸は波長差(wavelength shift)、縦軸は光出力である。FSRはその表示である。これらの光素子はシステム基板300上に搭載され、さらにシステム基板300は電子冷却(ペルチエ)素子401の上に搭載されている。この電子冷却素子401によって、半導体レーザ素子等のデバイス温度を所定に制御する。これにより、主に半導体レーザの発振波長を一定に保つ。

【0025】

ここで、エタロン108も温度は一定に保たれているべきであるが、パッケージ700の周囲温度が変化すると、熱の伝導、輻射、対流に起因して、パッケージ内に温度分布が発生する。エタロンの温度はその部位によって異なってくるこ

とが判明した。例えば、エタロンが基板に取り付けられている場合、取り付け部近傍の温度と、そこから離れた場所とでは、エタロンの温度は異なることとなることが判明した。換言すれば、エタロンの取り付け部近傍とそれより上部とではで温度差が生じることが判明した。故に、エタロン内での光の通過場所の温度が周囲温度の変化に伴って変化する。一方、エタロンには温度特性があり、次式に従って透過波長が変化する。そこで、温度変化に対する透過ピークの変動量を見積もると次の通りである。すなわち、図3に基づく垂直入射の場合のエタロンの基本式より、

$$2nt = m\lambda \dots \dots \dots \quad (12)$$

今、温度上昇 ΔT による光路長変化を δ とし、波長が $\lambda + \Delta\lambda$ で透過ピークが得られたとすると

$$2(nt + \delta) = m(\lambda + \Delta\lambda) \dots \dots \dots \quad (13)$$

が成り立つ。一方、 δ は、線膨張係数を α ($\alpha = dt/dT$) として、光路長 nt の全微分をとり、

$$\begin{aligned} \delta &= ((dn/dT)t + n(dt/dT))\Delta T \\ &= ((dn/dT) + n(dt/dT))t\Delta T \dots \dots \dots \quad (14) \end{aligned}$$

となる。式(12) (13) (14)より、

$$\Delta\lambda = (\lambda/n)((dn/dT) + n(dt/dT))\Delta T \dots \dots \dots \quad (15)$$

が得られる。即ち、式(15)に示される通り、この透過波長の温度係数 ($\Delta\lambda/\Delta T$) は、屈折率の温度係数 (dn/dT) を①、線膨張係数と屈折率との積 ($n(dt/dT)$) を②とすると、①と②との和 ($(dn/dT) + n(dt/dT)$) に (λ/n) を掛けたものとして表わされる。そして、透過波長の温度係数は、エタロンの厚さには依存しない。エタロンの材料として通常用いられる合成石英の屈折率は、 $n = 1.444687$ (波長 1500nm において)、 $n = 1.443492$ (波長 1600nm において) の値から線形近似した式は式(16)で表される。

$$n = 1.462612 - 0.01195\lambda \dots \dots \dots \quad (16)$$

で得られる。式(16)に動作波長 1550nm を代入すれば、屈折率は、 $n =$

1. 444となる。また、屈折率の温度係数は 8.5×10^{-2} である。従って、この場合のエタロンの温度係数は

$$\Delta \lambda = 0.009 \Delta T \text{ nm} \dots \dots \quad (17)$$

となる。

【0026】

図6は従来の構成で、パッケージの中身を側面図として示したものである。レーザ光源100の後方出力をコリメータレンズ101でコリメートし、エタロン108に到らしめる。透過光は光検知器109で受光される。これらの部品はシステム300の上に搭載されており、さらに、熱電子冷却素子（ペルチェ）401に接触している。

【0027】

パッケージの周囲温度が、例えば、光通信モジュールの環境温度として標準的に指定されている0°Cから70°Cまで変化した時、エタロン内の光が通過する場所199の温度をシミュレーションで求める。その結果は、例えば70°Cの時の温度が、27.2°C、0°Cの時が23.76°Cとなり、温度差3.44°Cが発生する。この温度差は、式(17)のエタロンの透過波長のずれに換算すると、30.96pmとなる。この値はグリッド間隔400pmの7.7%となり、高く要求されているロック精度を越えることになり問題である。図7は波長のずれを図示したものである。図4と同様に、エタロンの波長分光特性を示す図で、その温度70度と0度における両特性を示している。横軸は波長差(wavelength shift)、縦軸は光出力である。この温度による波長分光特性のずれを解消することが、本願発明が解決すべき技術的課題である。

<本願発明の諸実施の形態>

具体的な実施の形態を例示するに先立って、本願の主な形態を列挙する。

【0028】

前記本願発明の第1の形態は、前述した通りである。即ち、半導体レーザ光源からの出射光の一部を第1の光束としてエタロンを透過させて第1の光検出手段に導き、前記出力光の他の少なくとも一部を第2の光束としてそのエタロンを透過することなく第2の光検出手段に導き、且つ前記第1、第2の光検出手段で検

出された前記第1及び第2の光束の差信号に基づいて、前記レーザ光源の発振周波数を所定値に維持するように構成される。そして、前記エタロンが気体が存在した空間を多重干渉領域としたエタロンであり、前記エタロンが、スペーサを当該モジュールで適用する光を透過する光学特性を有する二枚の板材で挟み且つ前記二枚の板材の長さを前記スペーサの長さより大きく設定し、前記二枚の板材の前記スペーサに接しない両部分が構成する空間が前記多重干渉領域となされている。且つ前記スペーサが、温度の影響を受けないように設定する。即ち、より具体的には、前記スペーサが、例えば、熱膨張係数が10のマイナス7乗／℃以下の固体材料で構成される。この固体材料としては、例えばガラスの一種であって熱膨張係数が10のマイナス7乗／℃以下のものが好ましい。そのような材料として、例えば、ショットガラス社の商品名「ゼロデュア」やコーニング社の商品名「パイレックス」が市販されている。

【0029】

尚、前記二枚の板材の長さ及び前記スペーサの長さは当該エタロンへの入射光の光軸と交差する方向の長さである。尚、通例、前記各長さの方向と前記入射光の光軸とは実質的に直交するように配置される。

【0030】

又、前記二枚の板材は光学研磨板が使用され、スペーサとは、フィジカル・コンタクで固定するのが極めて、実用的で好ましい。

【0031】

前記スペーサを当該モジュールで適用する光を透過する光学特性を有する二枚の板材で挟む形態は、前記スペーサが前記二枚の板材の一方の端部側にのみ配置され、前記二枚の板材の前記スペーサの一方の端部より突出している領域を用いる、いわゆる片もち形態が代表的な方法である。又、前記スペーサとして二つのスペーサ部材が前記二枚の板材の相対する二つの端部側に配置された、いわゆる両もち形態も取り得る。

【0032】

更に、より実際的には、半導体レーザ光源からの出射光の一部を第1の光束としてエタロンを透過させて第1の光検出手段に導く為の光束分割手段は、半透明

のビームスプリッタであり、前記エタロンを構成する二つの透明な光学研磨板なる板材を前記スペーサによる片持ち構造とし、前記板材の各々の内側に反射膜を形成し、且つ、前記板材の各々の外側に無反射膜を施すか、あるいはテープをつけた形態を取る。

【0033】

前記エタロンを構成する板材のうち、入射側の板材が四分の一波長板として、偏光を制御することが出来る。

【0034】

又、前記エタロンの一部を透過する光束と、前記エタロンを透過しない光束とは、入射光を当該半導体レーザ制御モジュールの保持基体の主面に略平行な面内で左右に分割するか、当該半導体レーザ制御モジュールの保持基体の主面に略交差する面内で上下に分割して得るのは、容易な形態である。そして、その一方を波長検出用光検知器に、他方を参照光とする。

【0035】

又、前記エタロンを斜めに配置し、前記エタロンを通過した光束を二つに分割し、二つに分割された一方の光を第一の光検知手段で、他方を第二の光検知手段で受光せしめ、各光検知手段の各々の光電流の差を前記波長誤差信号とすることも可能である。

【0036】

本願発明は、勿論、前記半導体レーザ光源が複数の波長の発振が可能な発光部を有するアレー光源をも構成することが出来る。代表的な形態は、前記半導体レーザ制御モジュールにおいて、該半導体レーザを波長の異なる複数のアレー光源となし、該複数の光源からの光を合波して導波路を形成し、該導波路からの出射光を第一の集光レンズで集光し、第一のビームスプリッタで反射した光を参照光とし、透過した光を第二のビームスプリッタで分割し、反射した光を前記エタロンに導いて波長誤差検出を行い、透過した光を第二の集光レンズで光ファイバに結合することを特徴とする半導体レーザ制御モジュールとその応用装置である。

【0037】

次に、本願発明の実施の形態を、図面を参照しながら具体的に説明する。

【0038】

本願発明による実施例を図8及び図9に示す。図8はモジュールの側面図、図9はその平面図である。熱電子冷却素子401の上部に本モジュールの光学的諸要素が搭載されている。半導体レーザ素子100はマウント310に搭載され、コリメータレンズ101はシリコン等の基板180に搭載されている。本願発明の主要部たる温度によって波長分光特性に変化をきたさない波長分離素子、例えばその代表例たる気体エタロンが符号201、202、203によって示される部材によって構成される。これらの部材の詳細は後述される。この波長分離素子に対向して受光素子109が配置される。図9では図8のモジュールに対向して配置される光導波路、例えば光ファイバー104も同時に示している。この光導波路の半導体レーザ101への対向面には光アイソレータ102が設けられる。半導体レーザへの帰還光を阻止するためである。

【0039】

さて、前記波長分離素子、例えばその代表例たる気体エタロンは次のようにして構成される。極めて小さい線膨張率を有する固体材料201をスペーザとして、適用波長領域の光を透過する材料による板材202及び203を挟み込みエタロンを構成する。この場合、図9の平面図に見られるように、板材202及び203の一方の端部に低線膨張率のスペーザ201を配置する。スペーザ201の存在しない領域が光を透過し、エタロンの効果を奏する。図9の例では、板材202及び203の一方の端部のみにスペーザ201が配置されているが、板材202及び203の両端部にスペーザ201を配置することも出来る。又、スペーザ201の存在しない領域で、これらの板材202及び203の間隔が変化しない、あるいは撓まない長さを選択することは言うまでもない。しかし、この長さの選択は、微小な本装置では十分可能である。以下、より具体的にエタロンの構成を説明する。

【0040】

即ち、熱膨張係数が10のマイナス7乗以下で、ほとんど無視できる固体として、ゼロデュワー（商品名）、あるいは、パイレックス（商品名）のような材料201を、石英ガラスのような透明な材料202、203で挟んだ構造のエタロ

ンを用意する。即ち、板材202、203の間に生じる気体の厚みを t とし、板材202、203の内側の膜反射率を R とすれば、上述の式(1)から式(11)を適用して、FSRとフィネスを設定し、最適な波長検出フィルタを設計することが可能である。又は、板材202、203の内側表面に、例えば、膜を形成して所望の膜反射率 R としても良い。

【0041】

この空間を満たす気体としては、例えば空気や窒素ガスなどが使用される。これらの場合、式(15)において、 $(dn/dT) \approx 0$ 、且つ、 $(dt/dT) \approx 0$ であるから、 $\Delta\lambda \approx 0$ となる。従って、周囲温度が変動しても選択透過波長のそれは無視できる。特に、エタロンは密閉されたパッケージ内に実装されることが望ましい。又、板材202、203の外側は無反射コート膜、あるいは、テープを施して、反射によるゴースト光の影響を除去する。又、スペーサ201は、板材202、203の片側のみの一箇のスペーサとなっており、スペーザを二個、例えば板材の両端部に設けた時に生じる板材202、203の傾斜を無くしている。これは、部品点数の削減でもあり、コスト低減に寄与している。スペーザ201と板材202、203は、合わせ面を波長の数分の一以下の光学研磨することにより、いわゆる、フィジカル・コンタクト(Physical Contact)によって接着されている。あるいは、半田付け、YAG溶接、紫外線硬化樹脂などを用いて接着することが可能である。

【0042】

図10は、本願発明による、透明材料203を波長板として兼用する場合の実施例の主要部を示すものである。この例は、エタロンを構成する板材の内、少なくとも半導体レーザ側にある板材を4分の一波長板となす例である。板材によって、偏光制御を行い得るのである。こうして、光学系の不要な共振を低減することが出来る。

【0043】

即ち、半導体レーザ100の端面と透明板202の内側、あるいは、透明板203の内側との間で、共振器262、あるいは、共振器261が形成される。この為に半導体レーザの発振波長が変化すると、光検知器110の光電流にリップ

ルが生じるという問題が発生する。この現象は、各面での反射光同士の干渉に起因している。

【0044】

このため、板材202を4分の一波長板として、半導体レーザ100からの直線偏光を通過させて円偏光とし、反射光が再び202を通過して、もとの直線偏光にたいして直交する偏光となす。かくして、両者の変更は直交しているため干渉が起こらず、光出力がほぼ一定に保たれて先のリップルが減少するものである。

【0045】

図11は、本願発明によるスペーサ201と板材202、203によって構成された気体エタロンを波長ロック用の波長誤差検出フィルタとして使用する時の構成を示すものである。図11は主要部の平面配置を示す。即ち、半導体レーザ100よりの光を、集光レンズ101によって平行となった光を左右に二分する。そして、一方の光束はそのまま光検知器204にいたらしめ、上述の式(7)、(8)における光電流信号、 P_m を得る。他方の光束は気体エタロンを通過して光検知器205に至り、波長誤差信号 $A(\lambda)$ のもとになる光電流信号 P_t を与える。波長誤差信号 $A(\lambda)$ を得てからの動作はこれまでのものと同様である。本例では、図11の光学系で波長誤差信号の為の信号を得ることが出来る。

【0046】

図12は、スペーサ201、板材202、203によって構成された気体エタロンを波長ロック用の波長誤差検出フィルタとして使用する時の他の構成を示すものである。図12の(a)は本例の主要部の平面図、図12の(b)はその断面図である。又、図中の符号はこれまでと同様の部位は同様の符号を用いた。即ち、集光レンズ101からの平行光を上下に二分割し、一方の光束はそのまま光検知器204にいたらしめ、上述の式(7)、(8)における光電流信号 P_m を得る。他方の光束は気体エタロンを通過して光検知器205に至り、波長誤差信号 $A(\lambda)$ のもとになる光電流信号 P_t を与える。図11の例では二分割する光は基板と平行な面内、いわゆる平面内で行われたが、本例では二分割する光は基板と交差する上下に分割される。

【0047】

図13は、本願発明による他の実施例を説明する図である。即ち、本例は気体エタロンをレーザ光の光軸に対して傾斜して配置する例である。図13の(a)は本例の主要部の平面図、図13の(b)はその断面図である。又、図中の符号はこれまでと同様の部位は同様の符号を用いた。

【0048】

半導体レーザ100からの発散光を、レンズ101で集光し、やや発散したビーム177を形成する。そして、本願発明による気体エタロン(201、202、203)をやや斜めに配置する。こうして、左右に近接して並べた二つの光検知器へ到るビームがそれぞれ異なった光路長をもってエタロンを通過せしめる。かくすれば、図4で示した波長応答特性が二つの光検知器でやや左右にシフトして現れる。従って、この両者の差をとれば、波長誤差信号が得られる。このような波長誤差検出光学系においては、波長誤差検出用フィルタとして機能する気体エタロンの温度依存性がほとんど無視されるので、パッケージ全体の周囲温度の変化の影響が低減される。

【0049】

図14は、本願発明による他の実施例を示す図である。本例は、光电流Pmを得る為の光をより簡便に得る構成を提供するものである。即ち、当該エタロンへの光の導入に用いる保持基体の一部に反射鏡を設け、部品点数の低減あるいはより少スペース化を図る例である。こうした反射鏡を有する保持基板はシリコン基板を用い、シリコンに対して、結晶格子の異方性を利用したいわゆる異方性エッチングによって光に対して傾斜する鏡面を、高精度に且つ容易に制作することが出来る。尚、図14の(a)は当該実施形態の上面図、図14の(b)はその側面図である。

【0050】

半導体レーザ光源100からの光を集光レンズ101で集光し、平行光を作つて、スペーサ201、板材202、203からなる気体エタロンにいたらしめる。本例では、半導体レーザ100、集光レンズ101はともにシリコン基板206上に実装されている。このシリコン基板206には、異方性エッチングで形成

したV字型の溝がある。このV字型の溝の底面が平面となるように食刻する。そして、集光レンズはこのV字型溝の底面の上に搭載されている。V字型溝の一方の斜面が反射鏡となる。半導体レーザ100は当該シリコン基板206の丘状領域の上部に搭載されている。集光レンズ101によって集光された光の一部は、シリコン基板206に形成された反射ミラー207によって反射される。この反射によって集光レンズ101によって集光された光は分割されることとなる。反射した光は光検知器110で光電変換され、光電流Pmが得られる。反射されないで通過した光は、気体エタロンを通過して光検知器109に至る。光はこの光検知器で光電変換され、光電流Ptが得られる。

【0051】

このように工夫されたシリコン基板を用いれば、図1に示したビームスプリッタ106が不要となり、部品低減だけでなく、省スペース化による集積度の向上が実現できる。又、光源と集光レンズとが同一のシリコン基板上に搭載されるため、温度が変化しても熱膨張の影響を受けにくくなる。従って、光源と集光レンズの相対位置が変わらないため、エタロンへの入射角変動が低減できる。半導体レーザ100の前方の光は他の集光レンズ208で集光され、平行光、または収束光となる。平行光の場合はボールレンズなどの集光レンズ209でファイバ210に結合される。集光レンズ208と他の集光レンズ209の間には気密用窓211、アイソレータ212が配置されている。図15は、シリコンミラーによって跳ね上げられた光を受光する時の光検知器110用ホルダの断面図である。その断面は集光レンズの光軸に対して交差する断面である。システム基板300上にホルダ301が搭載される。ホルダ301はシステム基板300上に搭載される半導体レーザや集光レンズ101を搭載したシリコン基板206をまたぐブリッジの形をし、高さを調節している。

【0052】

尚、ここで、半導体レーザをシリコン基板上に搭載せず、シリコン基板と別異の基板、例えばコバルト等の基板に搭載することによって、高周波によるノイズ対策を講ずることも可能である。勿論、この場合、集光レンズ208と光検知器110とはシリコン基板に搭載し、且つこのシリコン基板に前述の反射鏡を用い

ることが出来ることは云うまでもない。

【0053】

図16は半導体レーザ100の前方の光を波長誤差信号用に使う時の構成を示すものである。更に、本例はマルチ・チャネルの光源を用いた例である。

【0054】

波長の異なる半導体レーザアレー951の各々の出力を導波路952で導き、合波器953で一つの単一モード導波路に合波する。そして、この合波された光を、半導体増幅器954で増幅して光変調器955に至らしめる。変調器955からの出力光を集光レンズ208で集光し、アイソレータ212を経てビームスプリッタ213にいたる。ビームスプリッタ213で反射された光は光検知器110で受光され、光電流Pmが得られる。ビームスプリッタ213の代わりに本願発明のシリコンミラー207を前方に形成して用いることが可能である。一方、ビームスプリッタ213を透過した光は、第二のビームスプリッタ214で二分割される。ここで反射光は気体エタロン（スペーサ201、板材202、203）を通過して光検知器109に至る。そして、光は光検知器109で光電変換されて光電流Pmが得られる。第二のビームスプリッタ214を通過した光は、第二の集光レンズ209を経て、光ファイバ210に至る。

【0055】

図17は本願発明による他の実施例の構成を示す図である。本例は光多重通信を実施する基本構成を示す。

【0056】

本願発明による光送信モジュール310をITUグリッド波長のチャンネル毎に用意し、それらを多数並べる。これらの光を波長合波器320に繋いで一本のファイバ330伝送する。この状態で伝送される光は波長多重化されている。多重化された各々の波長は信号を乗せて光ファイバ内を長距離に渡って伝送される。例えば、およそ、600km伝播するとファイバの損失により信号量が減衰する。このため、光ファイバ増幅器からなる中継器340が必要となる。光ファイバ増幅器としては例えばEDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) が普及しており、Cバンドとよばれる帯域でのチャンネル信号を一括して増幅する。

この波長領域は約32nmであり、波長間隔が0.8nmの場合は40チャンネル、0.4nmの場合は80チャンネル活用できる。いくつかの中継器を経た信号は、分波器350で波長分光され、各々のチャンネル毎に設置した受信モジュール360によって電気信号に変換される。このような大容量の波長多重通信において、チャンネル間のクロストークを除去するためには、光源部分に対して、これまで詳細に説明してきた本願発明による安定した波長ロック機構が重要な役目を果たす。

【0057】

以上説明したように、本願発明の実施例による基本要素からなる構成を解決手段に取れば、周囲温度の変化に対しても、光学的、電気的に安定な波長ロックの制御ループを閉じることが可能となり、エタロンの性能を最大限に活用することが可能となる。即ち、波長選択の分解能、光利用効率、レーザ光源モジュール内部への実装密度向上、機械的な安定性、温度変化に対するロック波長ずれの補正などの観点から、これまで不可能であった技術課題、特に温度変動によるロック波長のずれの問題の解決が実現する。しかも、本願発明の波長制御方式を活用すれば、半導体レーザの発振波長をロックできるだけでなく、半導体レーザの温度を変えることにより、任意のITU-TSグリッドへの波長移動と波長ロックが同時に可能となり、波長多重光通信装置や、波長チャンネルのルータ装置に不可欠のレーザ光源を提供するものである。

【0058】

このように、本願発明によれば、波長誤差検出素子の温度依存性が無視できるため、波長ロック光学系で温度変動があっても、波長ロッカのロック目標の範囲からのずれを低減可能である。

【0059】

【発明の効果】

本願発明は、周囲温度等の影響を可能な限り除去し、発振波長を安定化した半導体レーザ制御モジュールを提供することが出来る。更に、本願発明は、周囲温度等の影響を可能な限り除去し、発振波長を安定化した半導体レーザ制御モジュールを用いた応用装置、光システムを提供することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1は波長制御ループの構成図である。

【図2】

図2は半導体レーザの発振波長と温度の関係を示す図である。

【図3】

図3はエタロンの動作原理を示す断面図である。

【図4】

図4はエタロンの波長分光特性を示す図である。

【図5】

図5は波長ロック部を内蔵した光通信モジュールの平面図である。

【図6】

図6は従来の波長ロック光学系の構成例を示す断面図である。

【図7】

図7は従来の波長ロック光学系では、周囲温度の変化と透過特性を示す図である。

【図8】

図8は本願発明による波長ロック光学系の構成例を示す断面図である。

【図9】

図9は本願発明による波長ロック光学系の構成例を示す平面図である。

【図10】

図10は本願発明による波長ロック光学系の構成の主要部を示す断面図である

【図11】

図11は本願発明による波長ロック光学系の構成例の主要部を示す平面図である。

【図12】

図12は本願発明による波長ロック光学系の構成の別な例の主要部を示す図である。

【図13】

図13は本願発明による波長ロック光学系の構成の更に別な例を示す図である

【図14】

図14は本願発明による波長ロック光学系の構成の更に別な例の主要部を示す図である。

【図15】

図15は本願発明による波長ロック光学系の受光器ホルダの例を示す断面図である。

【図16】

図16は本願発明による波長多重光に対する波長ロック光学系の構成の例を示す平面図である。

【図17】

図17は本願発明の送信モジュールを適用した波長多重光通信装置の例を示す図である。

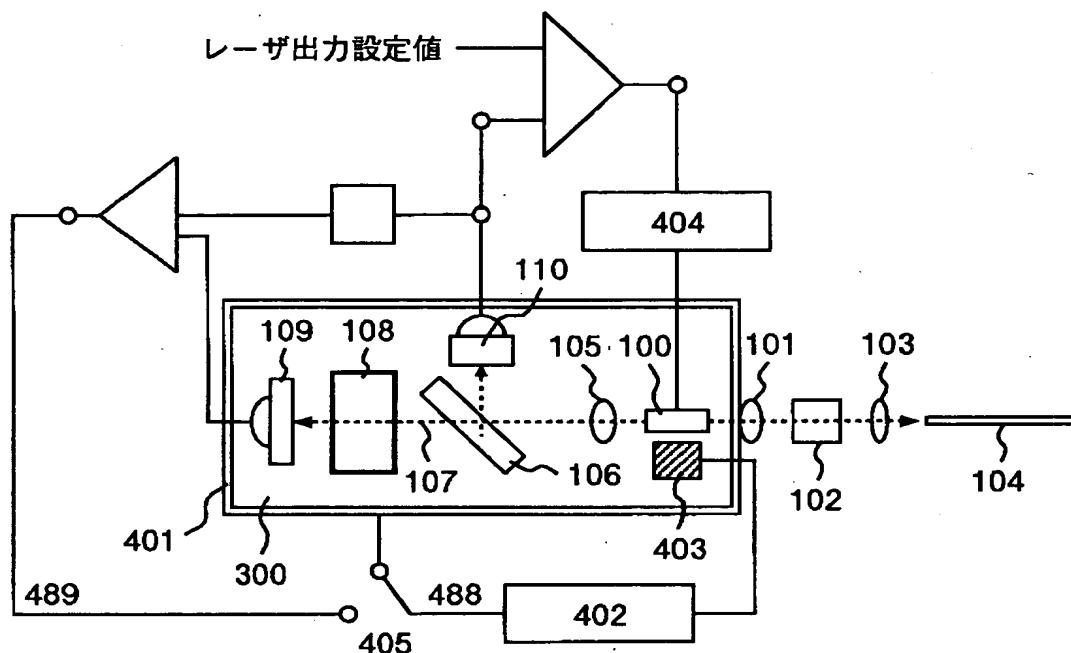
【符号の説明】

100：波長可変レーザ光源、101：コリメータレンズ、102：光アイソレータ、103：レンズ、104：光ファイバ、105：集光レンズ、106：ビームスプリッタ、107：透過光、108：波長選択素子、109：光検知器、110：光検知器。

【書類名】 図面

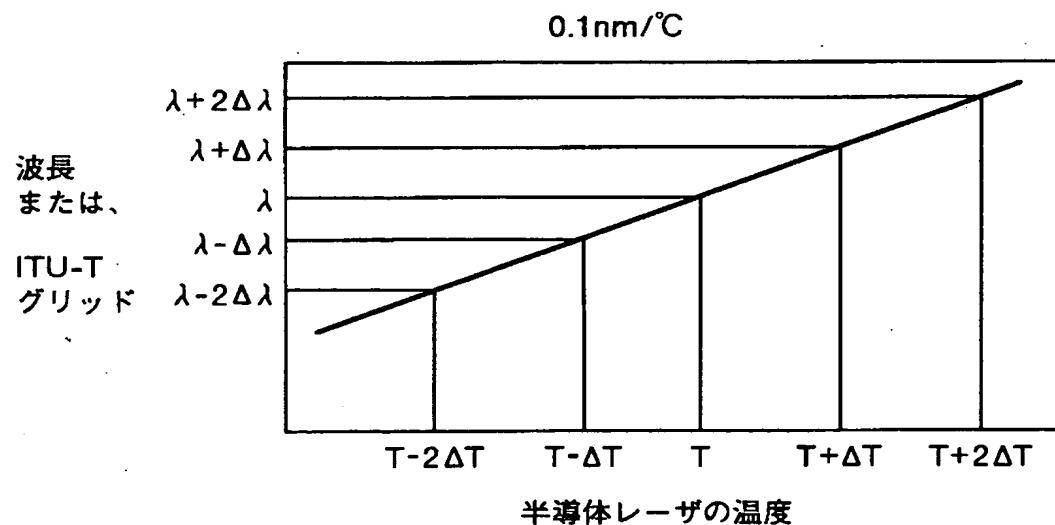
【図1】

図 1



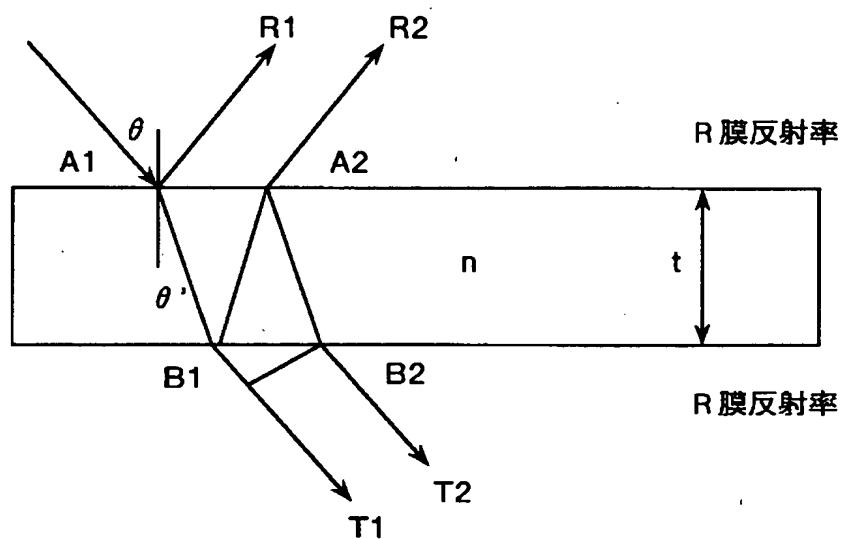
【図2】

図 2



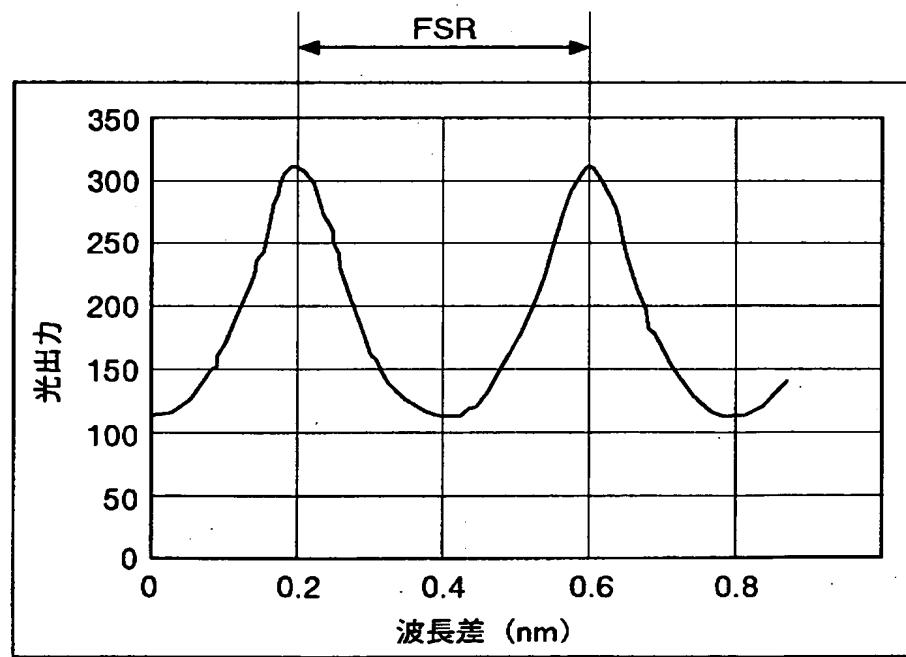
【図3】

図 3



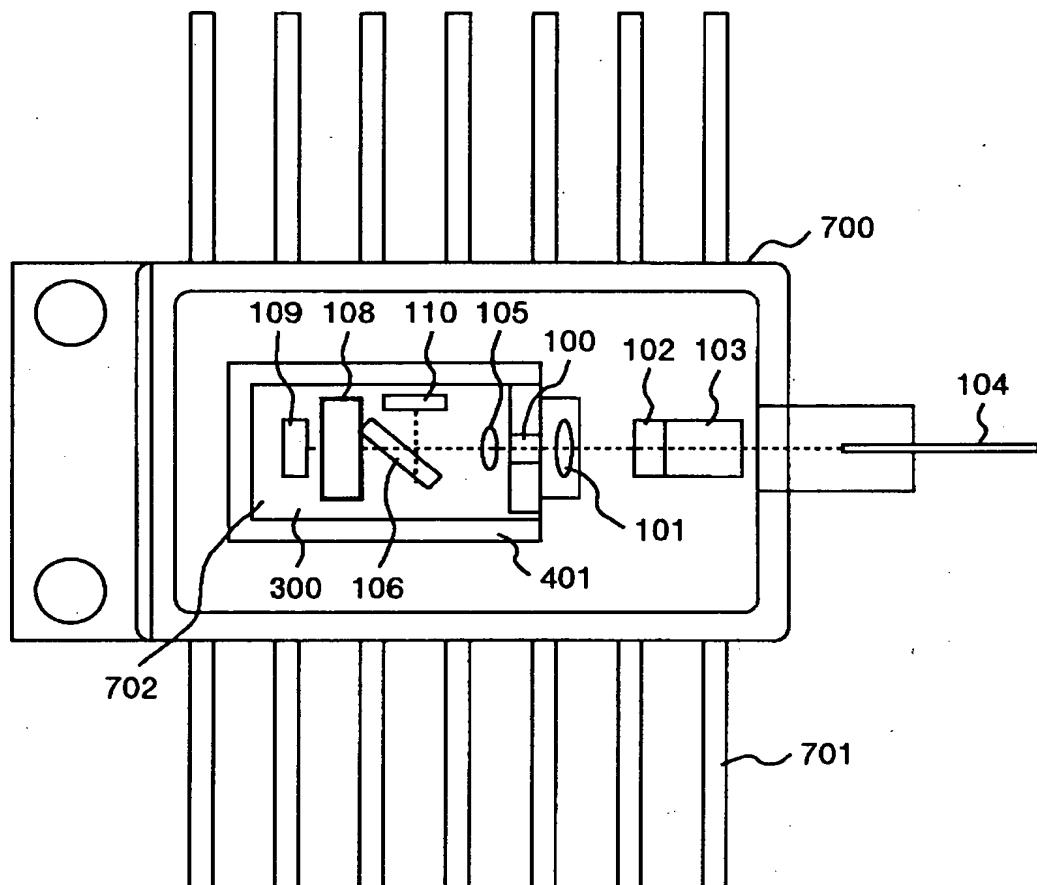
【図4】

図 4



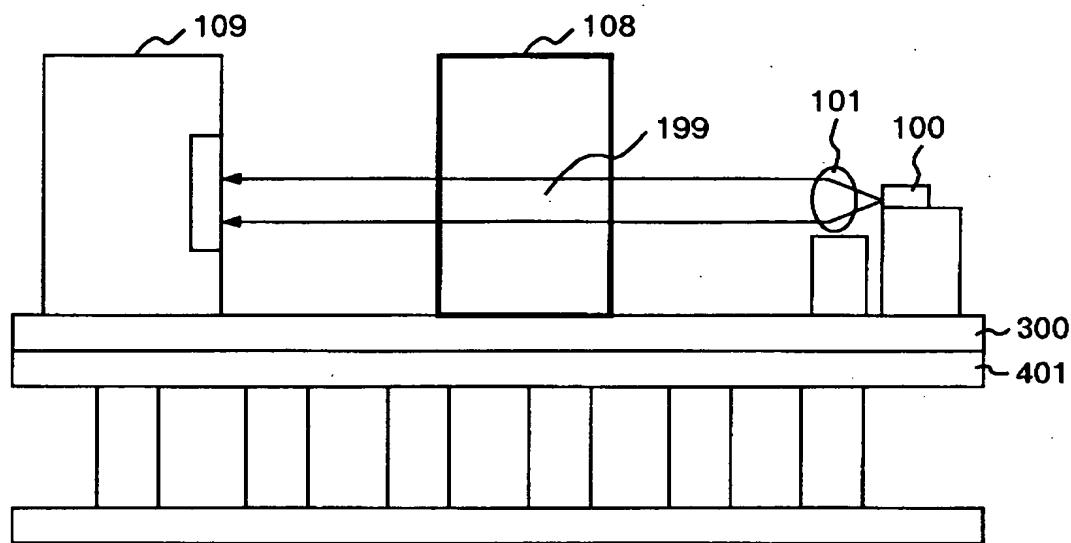
【図5】

図 5



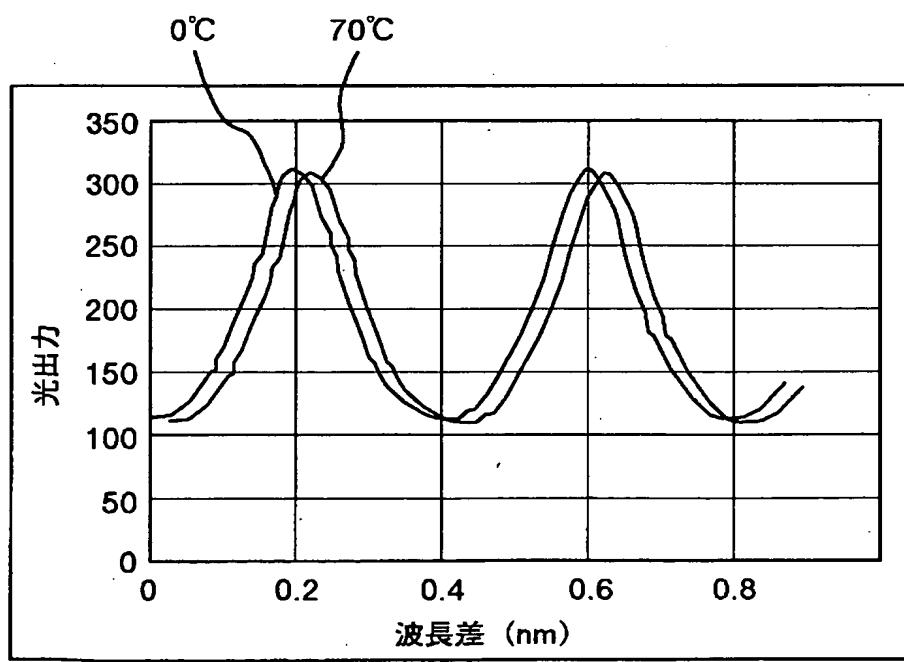
【図6】

図 6



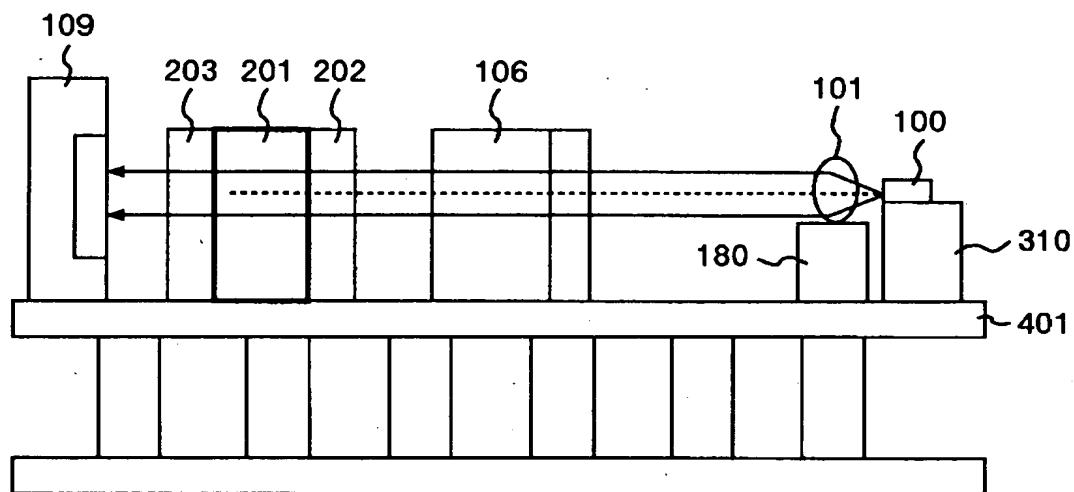
【図7】

図 7



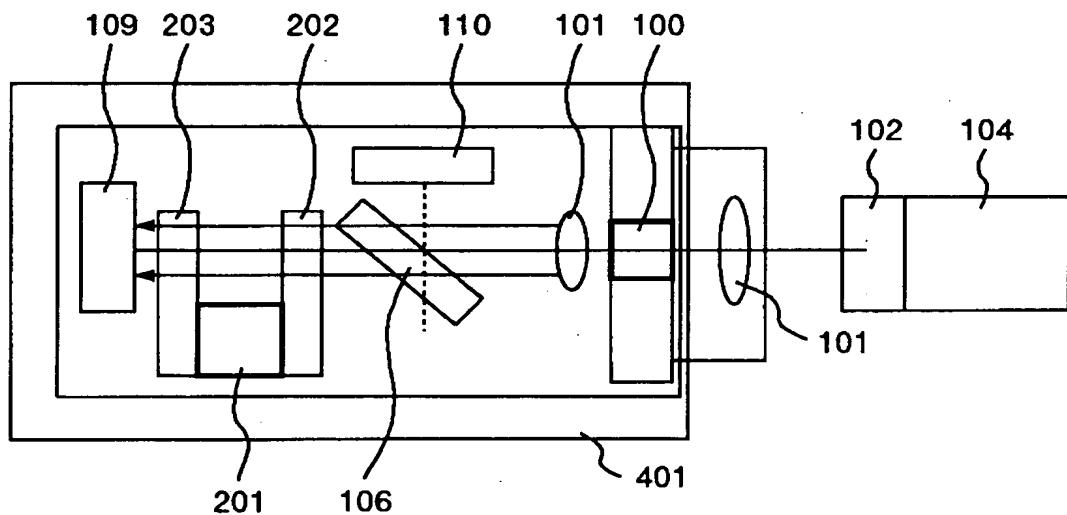
【図8】

図 8



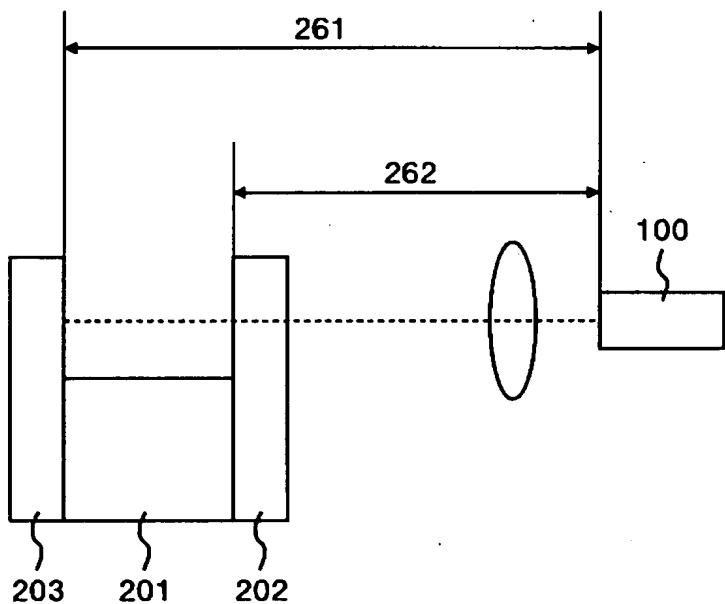
【図9】

図 9



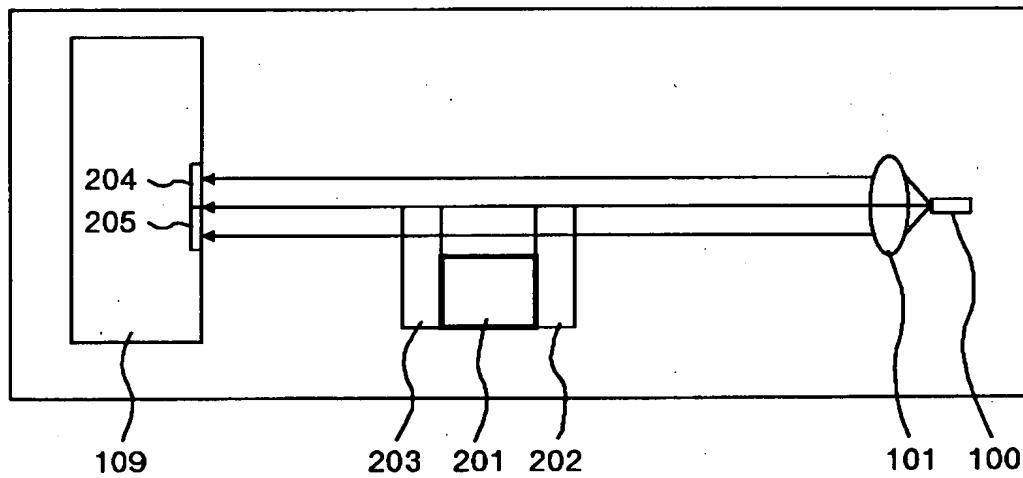
【図10】

図 10



【図11】

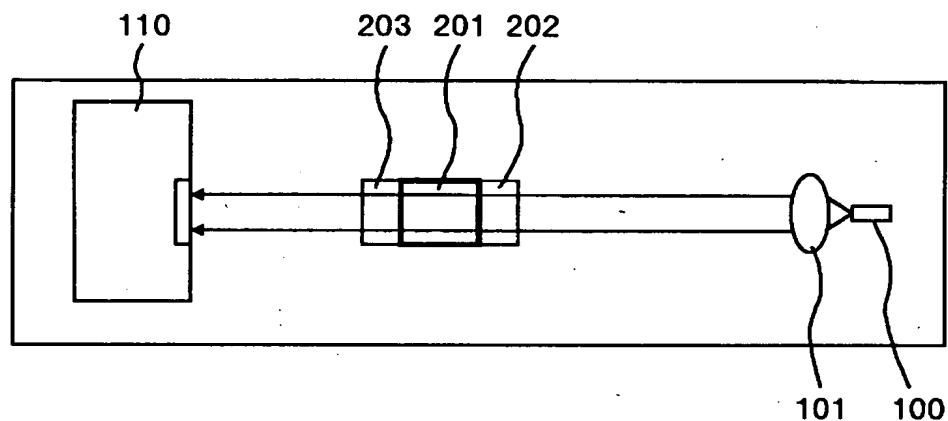
図 11



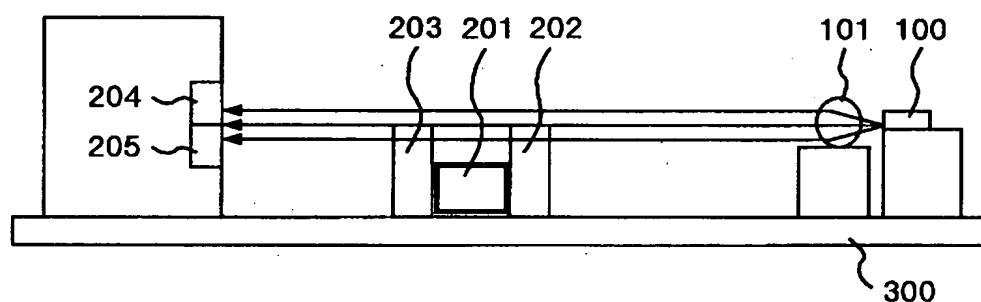
【図12】

図 12

(a)



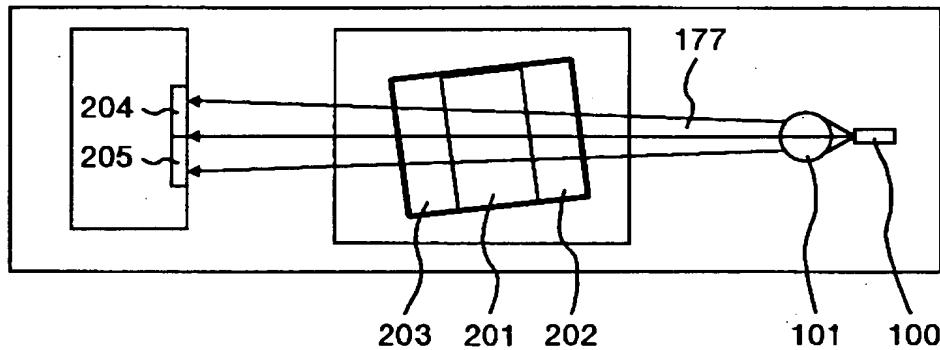
(b)



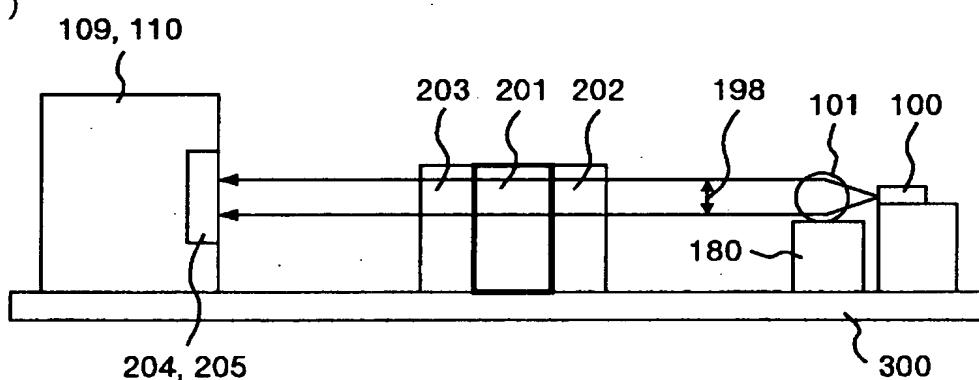
【図13】

図 13

(a)

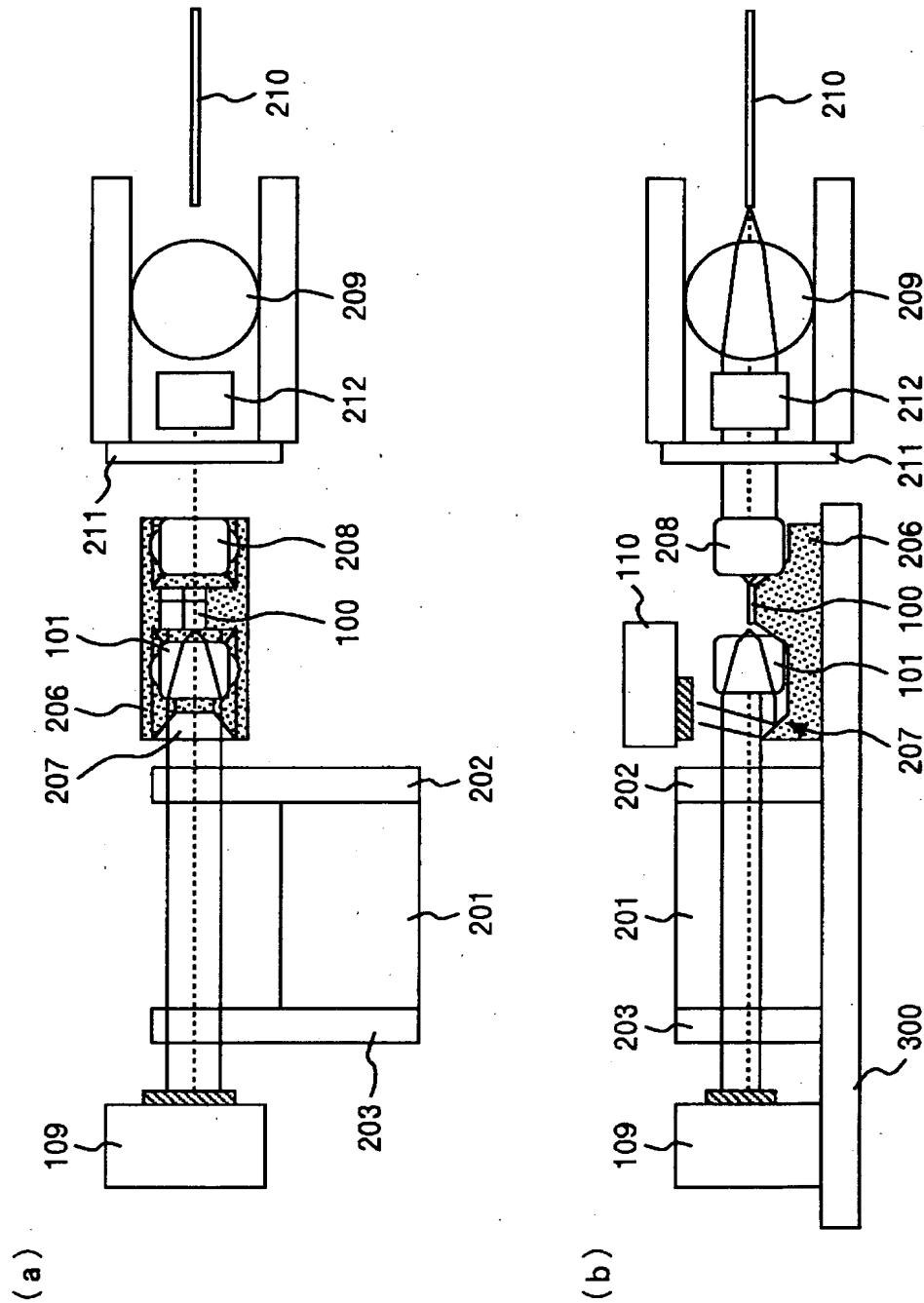


(b)



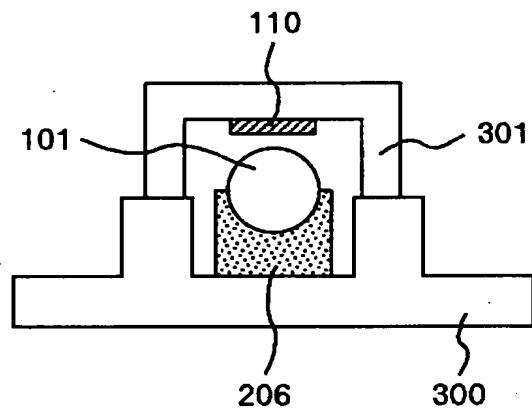
【図14】

14



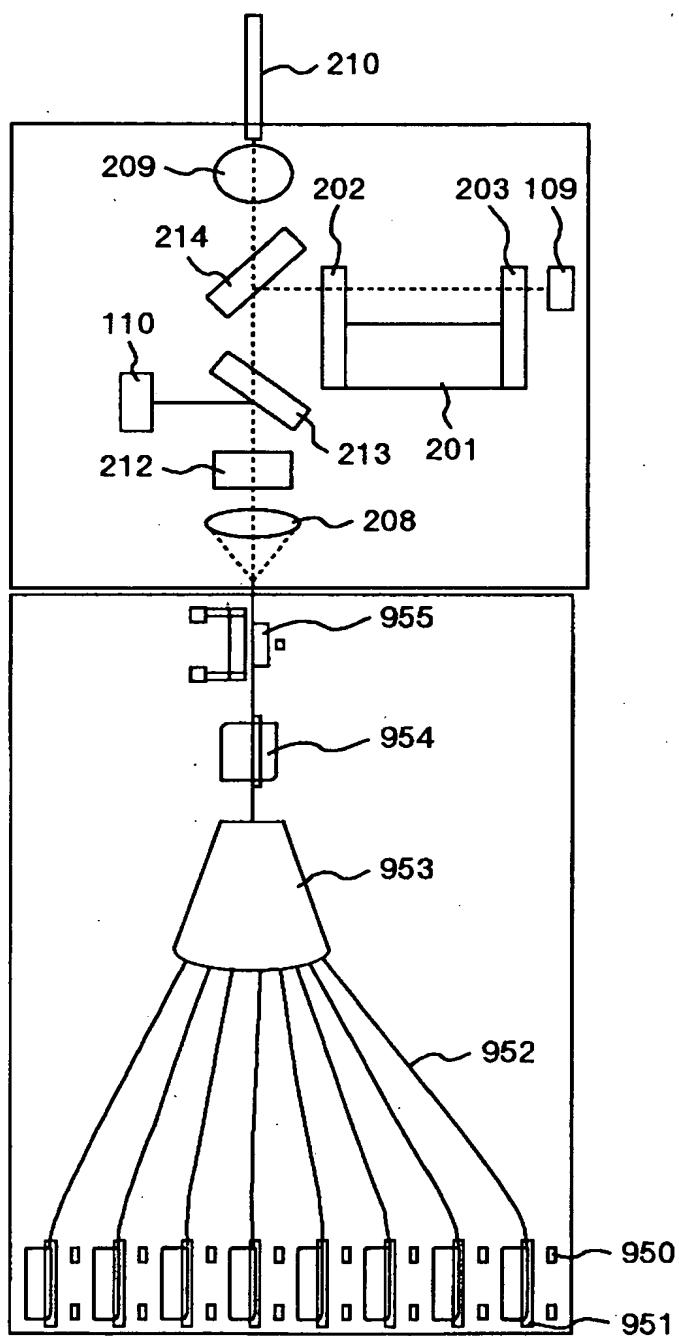
【図15】

図 15



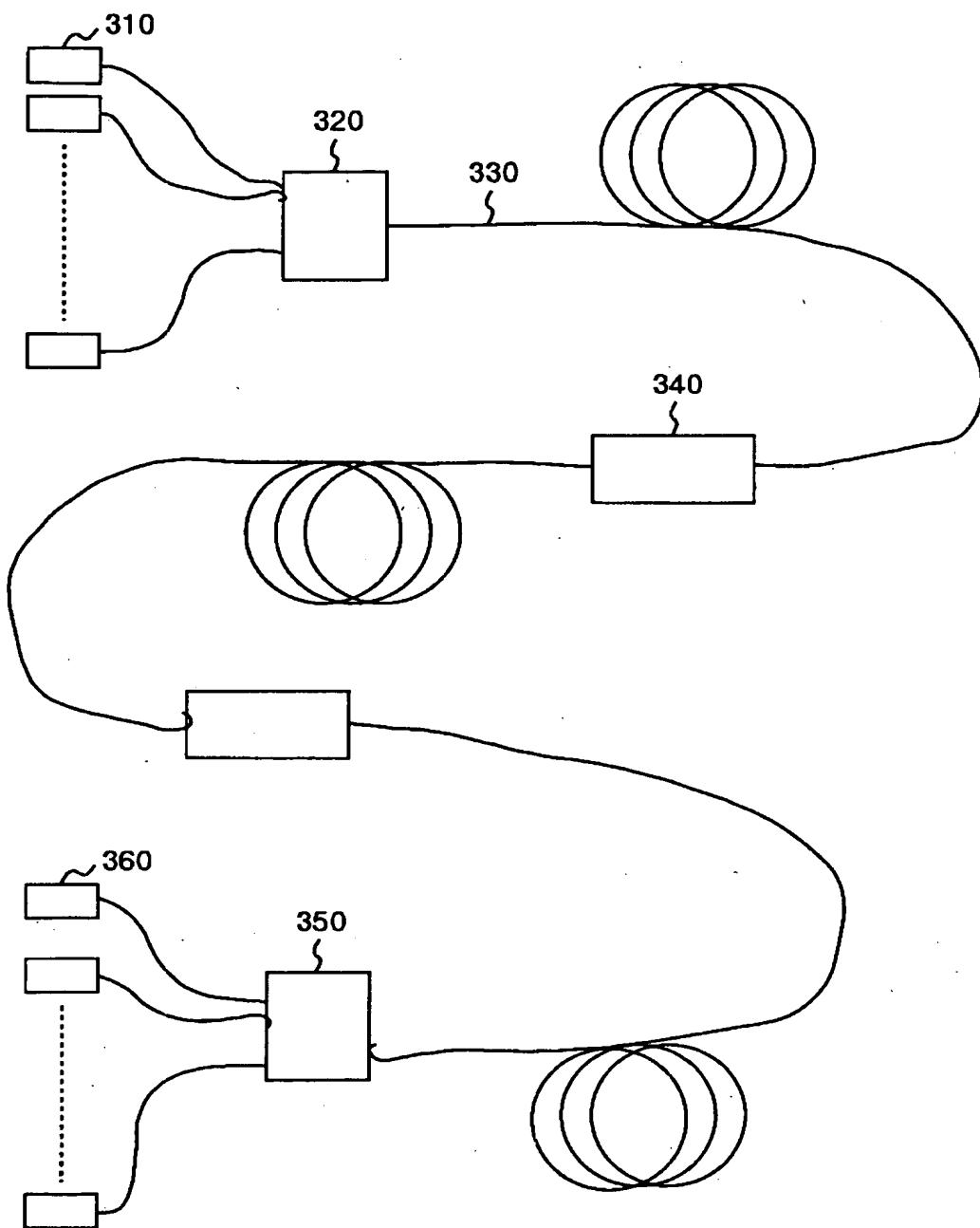
【図16】

図 16



【図17】

図 17



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本願発明の課題は、半導体レーザの波長ロック光学系で波長誤差検出素子の温度特性に起因して、周囲温度の変化で検出波長がずれるため、ロック目標の範囲からはずれることを防止するにある。

【解決手段】 本願発明の骨子は、波長誤差検出素子の温度依存性を無視できる構造とする。又、半導体レーザや、集光レンズを搭載する、例えばシリコン基板に反射ミラーを形成しビーム分割機能を持たせることによって、小型化等を図ることが出来る。

【選択図】 図14

出願人履歴情報

識別番号 [301005371]

1. 変更年月日 2001年 3月16日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県横浜市戸塚区戸塚町216番地

氏 名 日本オプネクスト株式会社